NOTE DE PROPOSITION

Pistes de recherche pour le développement du recyclage dans une dynamique circulaire

QUELLES CONDITIONS D'UNE MONTÉE EN PUISSANCE DANS LE BTP ET LA VILLE DURABLE ?

ANRT
ASSOCIATION NATIONALE
RECHERCHE TECHNOLOGIE



LE POUVOIR DE
L'INTELLIGENCE
COLLECTIVE

FÉVRIER / 2022
LES CAHIERS FUTURIS

Propositions issues du groupe de travail « Transition écologique » de l'ANRT présidé par Michael Matlosz
Professeur à l'Université de Lorraine – Président d'EuroScience – Président de la Fondation UNIT – Membre de l'Académie des technologies

Rapporteur : Nadège Bouquin, directrice de projet - ANRT
Sous la direction de Clarisse Angelier, déléguée générale de l'ANRT

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

Ces travaux sont soutenus financièrement par les souscripteurs FutuRIS :

AI CARNOT, AIR LIQUIDE, AMPIRIC - AIX-MARSEILLE UNIVERSITE, ANR, BERGER-LEVRAULT, BOUYGUES, BRGM, CEA, CNRS, CPU, EDF, ENGIE, FACEBOOK, GE HAELTHCARE, INSERM, INSTITUT MINES TELECOM, INRIA, INSTITUT PASTEUR, IRIS SERVIER, MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE, MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION, NOKIA, REGION PAYS DE LA LOIRE, SHNEIDER ELECTRIC, SNCF, TOTAL ENERGIES



Le contenu n'engage que la responsabilité de l'ANRT en tant qu'auteur et non celle des institutions qui lui apportent leur soutien.

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Le recyclage, qui est l'un des sept piliers de l'économie circulaire[1], constitue une activité pivot dans le contexte de la transition climatique et environnementale. Il se trouve au carrefour d'enjeux scientifiques, technologiques et sociétaux majeurs, ce qui pose la question des conditions de son développement et des besoins de recherche associés. En témoigne le lancement de la Stratégie d'accélération *Recyclabilité, recyclage et réincorporation de matériaux recyclés* en septembre 2021, et de son volet recherche (PEPR[2]).

L'objectif de cette note est de contribuer à identifier des pistes de R&D en matière de recyclage et de recyclabilité à l'attention des responsables de la programmation de la recherche, dans le cadre de la stratégie et au-delà. Les propositions présentées ont été formulées à partir des besoins exprimés par les membres de l'ANRT, notamment les entreprises, ayant participé aux réunions du groupe de travail *Transition écologique* en 2021, dédié au recyclage. Ont été aussi pris en compte les messages exprimés lors du colloque organisé par l'ANRT le 2 décembre 2021 sur « les enjeux et besoins de RDI pour le recyclage », en partenariat avec l'INSA Lyon, qui a accueilli l'événement, et la plateforme INDURA.

Un rappel concernant le cadre et les limites du propos : le meilleur recyclage est celui que l'on ne fait pas, parce qu'on l'a évité en amont (sobriété, réemploi, réutilisation, éco-conception, etc.). La présente réflexion sur le recyclage et la circularité n'implique donc pas que le développement du recyclage soit toujours bénéfique. C'est parfois le cas, dans certaines conditions, du moins peut-on l'espérer car les connaissances sont encore fragiles en la matière : il s'agit d'une des solutions possibles, dans une trajectoire de transition écologique globalement « net positive ». Mais même si le recyclage n'est pas toujours la meilleure option, il constitue, lorsque pertinent, une solution accessible et perfectible dès aujourd'hui. Cette note a donc pour objet de l'explorer, tout en rappelant ses limites et la nécessité de renforcer parallèlement l'étude et le traitement d'autres dimensions de la transition écologique.

Le recyclage renvoie à des réalités très diverses, selon les domaines et les matériaux concernés. Avec le souci de rester concret, le groupe a porté son attention sur le domaine du BTP et des matériaux de construction. Il a paru pertinent de proposer un regard complémentaire à celui de la Stratégie d'accélération, centrée sur cinq autres matériaux[3] - sachant que les déchets du BTP représentent plus des deux tiers du volume total de déchets produits en France. Pour garder une indispensable vision systémique sur le sujet, le groupe s'est cependant situé aussi dans la perspective plus large de la ville durable et désirable.

Une conviction a émergé : les enjeux du recyclage et de la recyclabilité en matière de bâtiments, de logements, d'environnement urbain sont aussi bien humains et sociaux que technologiques, économiques et environnementaux. Il est essentiel d'articuler les contraintes dictées par le souci de réduction de notre empreinte environnementale et climatique avec les aspirations à une vie urbaine saine et épanouissante pour la diversité des groupes humains qui évoluent dans nos villes. C'est un défi majeur pour la recherche. Il n'est pas nouveau, mais il devient crucial, avec deux enjeux :

- transformer les contraintes en opportunités : comment la recherche peut-elle contribuer à faire émerger des innovations technologiques et sociales pour un recyclage ouvrant des perspectives humainement positives concernant les modes de production, d'échange et de consommation ?

1- Selon le modèle de l'ADEME, les 6 autres piliers sont l'approvisionnement durable, l'éco-conception, l'écologie territoriale et industrielle (ou symbiose industrielle), l'économie de la fonctionnalité, la consommation responsable, l'allongement de la durée d'usage.
2- Programmes et équipements prioritaires de recherche.
3- Plastiques, composites, textiles, métaux stratégiques, papiers et cartons.

Certains sont déjà engagés dans cette dynamique, reste à la partager plus largement.

- Décloisonner et ouvrir davantage les processus de recherche et d'innovation, dans deux directions :
- intégrer davantage et plus en amont les sciences humaines et sociales dans les processus de recherche et d'innovation, et dans les dispositifs et projets de recherche partenariale, en matière de recyclage et d'économie circulaire. Une interdisciplinarité renforcée, même si elle est difficile, est indispensable pour affronter les changements d'échelle qui permettront de faire passer le recyclage du statut d'activité marginale à celui de maillon de nouvelles chaînes de valeur. Toutes les sciences ont vocation à contribuer à ce défi de changement d'échelle, avec une implication équilibrée des diverses branches disciplinaires, dès les phases d'orientation et de conception.

- Développer la co-création et la participation des acteurs de la société civile (collectivités, associations et ONG, entrepreneurs sociaux…) dans les pratiques de recherche. Ceux-ci sont, pourrait-on dire, nativement engagées dans la résolution de problèmes environnementaux et sociaux, et leur implication permet d'orienter suffisamment en amont les choix et les décisions. Cette approche, recommandée par les programmes Horizon 2020 et Horizon Europe, permet d'aborder de façon plus pertinente les questions d' « acceptabilité sociale » des technologies et de penser la valorisation de la recherche en termes de bénéfices environnementaux et sociaux, au-delà des bénéfices économiques. Enfin, elle répond à des attentes fortes en matière de démocratie technique.

Dans cet esprit, cette note propose trois pistes de travail.

1/ AMÉLIORER LE RECYCLAGE : REMONTER LES MATÉRIAUX ET PRODUITS RECYCLÉS DANS LA CHAÎNE DE VALEUR

Des améliorations importantes ont été réalisées ces dernières années concernant les matériaux, les produits et les procédés de recyclage. Elles ont permis à la fois une montée en qualité et un passage à l'échelle industrielle de nombreux produits, processus et services innovants dans le domaine du BTP et de la construction. De nombreux défis se concentrent désormais autour des conditions d'une meilleure valorisation des produits recyclés, pour un accès plus compétitif au marché. Les besoins de recherche identifiés pour aller plus loin dans les améliorations et la valorisation renvoient notamment à :

- la caractérisation des matériaux (en amont de la déconstruction, et après leur transformation) et de leurs conditions d'usage[4].
- la séparabilité des éléments constitutifs d'un produit ou d'un matériau - qui appelle en amont une conception favorisant la séparation en fin de vie ;
- l'amélioration des performances environnementales des produits et des procédés ;
- la mise au point de solutions de captage et de valorisation du CO2 ;
- la diversification des sources d'approvisionnement et des débouchés.

Ces progrès seront d'autant plus efficaces qu'ils seront couplés aux transformations d'ordre socio-économique et culturel évoquées ci-après.

2/ TRANSFORMER LE RECYCLAGE : ORGANISER ET ACCOMPAGNER LES DYNAMIQUES CIRCULAIRES

De nombreux freins ou besoins relèvent de la sphère des comportements, des interactions, des représentations, des cadres et modalités de l'action publique et privée. Souvent, les solutions sont cherchées du côté du bon sens et du pragmatisme. Ceux-ci ne sont pourtant pas toujours les plus adaptés à la résolution de problèmes complexes, qu'ils soient d'ailleurs technologiques ou sociétaux. Concernant ces derniers, les sciences humaines et sociales ont mis au point des approches et des outils pour les traiter. En dialogue avec les autres sciences et les partenaires socio-économiques, elles sont précieuses pour aider à les affronter. Ont été soulignés les besoins suivants :

- accroître la mutualisation des besoins et ressources des territoires ;

4- A noter que les sciences humaines et sociales ont aussi développé des recherches en ce sens : selon la théorie de l'acteur-réseau, par exemple, un objet ou un matériau peut être « caractérisé » comme un produit ou un déchet, selon la façon dont des acteurs vont l'insérer dans tel ou tel réseau socio-technique. Une bouteille en plastique deviendra une ressource si elle est réutilisée ou jetée dans un bac de tri, ou un déchet si elle est jetée dans une poubelle.

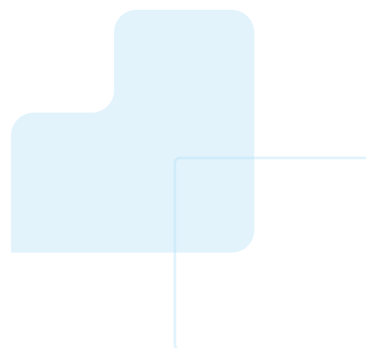
- renforcer le soutien à l'accompagnement des coopérations innovantes ;
- mesurer les impacts, partager méthodes et résultats et utiliser les évaluations plus en amont dans les projets.

3/ PARTAGER LES VISIONS : MOBILISER LA RECHERCHE ET L'INNOVATION DE FAÇON PLUS INTÉGRÉE



Le recyclage renvoie à de profondes transformations de nos modes de vie (économie circulaire, transition écologique...) sur une planète massivement impactée par le réchauffement climatique et la dégradation de notre environnement. La recherche peut d'autant mieux nous y aider qu'elle rassemblera ses forces en faisant dialoguer efficacement ses différentes « langues » et cultures, des plus technologiques aux plus sociétales. Il est ici question de l'organisation et des modes de fonctionnement de la recherche et de l'innovation (qui sont aussi des objets de recherche en soi).
Mettre la résolution des contraintes planétaires et des objectifs de développement durable au cœur de la recherche doit aider à repenser les solutions techniques. Débattre des priorités et se fixer des objectifs stimulants, développer une large appropriation des enjeux du recyclage et de l'économie circulaire constituent des enjeux qui appellent une mutation des cadres cognitifs, culturels, stratégiques et managériaux. Mieux « mailler » les sciences de la matière et du vivant et les sciences humaines et sociales est une condition clé pour que la recherche y contribue pleinement. Diversifier et enrichir les contributions aux processus de recherche et d'innovation, dès leurs premiers stades, en est une autre.

Deux autres conditions-clés pour le développement du recyclage et de l'économie circulaire sont évoquées en guise de conclusion : réglementation et normalisation d'une part, formation d'autre part.



SOMMAIRE



PRÉAMBULE 9



INTRODUCTION - UN ENJEU CLÉ : 11

Accélérer le passage d'un recyclage expérimental à une circularité globale,
et d'une ville durable à une ville désirable



1. AMÉLIORER LE RECYCLAGE : REMONTER LES MATÉRIAUX ET PRODUITS RECYCLÉS DANS LA CHAÎNE DE VALEUR 13

1 Caractériser les matériaux et leurs conditions d'usage 14

2 Séparer plus finement les éléments constitutifs d'un produit ou d'un matériau 14

3 Améliorer les performances environnementales des produits issus du recyclage 15

4 Améliorer des performances environnementales des procédés de recyclage 15

5 Développer les solutions de captage et de valorisation du CO_2 15

6 Diversifier les sources d'approvisionnement et les débouchés 16

2. TRANSFORMER LE RECYCLAGE : ORGANISER ET ACCOMPAGNER LES DYNAMIQUES CIRCULAIRES 17

7 Mesurer les impacts, partager méthodes et résultats et utiliser les évaluations plus en amont dans les projets 17

8 Accroître la mutualisation des besoins et ressources des territoires 18

9 Renforcer le soutien à l'accompagnement des coopérations innovantes 21

3. PARTAGER LES VISIONS : MOBILISER LA RECHERCHE ET L'INNOVATION DE FAÇON PLUS INTÉGRÉE 23

10 Cadres stratégiques et managériaux : débattre des priorités, fixer des objectifs stimulants 23

11 Cadres socio-culturels et cognitifs : développer une large appropriation des enjeux 24



CONCLUSION 26

DEUX CONDITIONS CLÉS SUPPLÉMENTAIRES POUR PILOTER LE CHANGEMENT



ANNEXE

Liste des membres du groupe de travail Transition écologique – Recyclage 28

PRÉAMBULE

Depuis 2020, l'ANRT explore la façon dont la recherche et l'innovation peuvent contribuer à affronter les enjeux climatiques et environnementaux qui conditionnent notre avenir sur la planète. Après un colloque dédié à l'analyse de cycle de vie le 10 décembre 2020[5], un groupe de travail « Transition écologique » a été mis en place en 2021. A la suggestion du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, ce groupe s'est penché sur la question des besoins de recherche en appui au développement du recyclage, l'un des sept piliers de l'économie circulaire[6]. En particulier, il a choisi de s'intéresser au recyclage dans les domaines de la construction, du BTP et plus largement de la « ville durable et désirable ».

POURQUOI LE RECYCLAGE, ET POURQUOI DANS CE DOMAINE ?

Pratique ancestrale, le recyclage est aussi aujourd'hui à la pointe d'innovations technologiques mais aussi socio-économiques et culturelles : il est un maillon important de chaînes de production et de consommation appelées à devenir plus durables donc plus circulaires. Comment mobiliser la recherche en appui à ces nouvelles dynamiques ? L'ANRT a fait appel à ses membres publics et privés pour contribuer à la programmation de la recherche en appui au développement du recyclage. Les travaux ont notamment vocation à alimenter la stratégie d'accélération *Recyclabilité, recyclage et réincorporation de matériaux recyclés* portée par le SGPI dans le cadre du PIA 4. Celle-ci ayant été lancée en septembre 2021 par la ministre de la Transition écologique, Barbara Pompili, l'ambition est d'identifier des besoins de recherche, notamment de la part des entreprises, pouvant nourrir le volet recherche de la Stratégie (PEPR – Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche).

CADRE ET LIMITES DU PROPOS :

Le recyclage est souvent présenté à juste titre comme la dernière solution à retenir dans la perspective d'une gestion durable des produits et des matériaux : le meilleur recyclage est celui que l'on ne fait pas, parce que l'on a évité en amont d'avoir à le faire - en réduisant la consommation et la production, en réemployant les biens produits, en concevant des produits plus faciles à désassembler, recomposer et réutiliser, etc. La présente réflexion sur le recyclage et la circularité n'implique donc pas que le développement du recyclage soit toujours bénéfique ou souhaitable : il peut l'être, dans certaines conditions, tout comme il peut parfois avoir des impacts énergétiques, environnementaux et/ou sociaux négatifs. La question énergétique, notamment, se pose aujourd'hui dans des conditions bien différentes de celles de la période d'abondance antérieure. Le recyclage et les approches circulaires dans lesquelles il s'inscrit sont donc à considérer comme l'une des pistes de solutions possibles (non la plus ambitieuse), accessibles et perfectibles dès aujourd'hui, dans une trajectoire de transition écologique « net positive ». C'est ce que cette note se propose d'explorer, tout en rappelant la nécessité de ne pas éluder d'autres dimensions de la transition écologique.

Le recyclage se décline dans tous les domaines d'activité, à travers une grande diversité de matériaux. La Stratégie d'accélération en a retenu cinq : plastiques, composites, textiles, métaux stratégiques, papiers et cartons. A titre complémentaire, le groupe a porté son attention sur les matériaux de construction, qui représentent des volumes très importants ; et il a choisi d'élargir son approche à la problématique plus large de la ville et des territoires, afin de disposer d'un angle de vision adapté au caractère systémique des enjeux et besoins en matière de recyclage.

5- Cf la page web du colloque, site web de l'ANRT.
6- Selon le modèle de l'ADEME, les 6 autres piliers sont l'approvisionnement durable, l'éco-conception, l'écologie territoriale et industrielle (ou symbiose industrielle), l'économie de la fonctionnalité, la consommation responsable, l'allongement de la durée d'usage.

QUELQUES REPÈRES :

- **En 2017, la production de déchets** en France représente 326 millions de tonnes (dont 11 MT de déchets dangereux), dont 224 millions de tonnes pour le secteur du BTP, soit plus des 2/3 du total (68,7 %)[7] ; ou encore 76,2 % de l'ensemble des déchets économiques (y compris collectivités, mais hors déchets des ménages).
- Hors construction, la France fait partie des pays européens qui produisent le moins de déchets d'activités économiques par habitant. En revanche, les activités de construction produisent en moyenne près de deux fois plus de déchets en France que dans les autres pays européens : 3,4 T/hab contre 1,8 en moyenne. Cela s'explique par l'importance du secteur du BTP en France.
- **Une actualité législative et réglementaire importante** accompagne les évolutions en cours sur le sujet de l'économie circulaire et du recyclage dans les domaines du BTP et de la ville. Citons en particulier :
  - Plan d'action européen pour l'économie circulaire (mars 2020)
  - Loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (dite loi AGEC)
  - Loi du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (dite loi Climat et Résilience)
  - Entrée en vigueur en 2022 de la réglementation environnementale des bâtiments neufs (RE2020, qui remplace la réglementation thermique RT2012). Objectif : sobriété énergétique, décarbonation de l'énergie, réduction de l'impact carbone, confort thermique dans le secteur du bâtiment. Les exigences de la RE2020 seront renforcées tous les trois ans jusqu'en 2031.
  - Décret du 31 décembre 2021 : mise en place début 2023 (au lieu de 2022 initialement) d'une filière de responsabilité élargie du producteur (REP), sur le principe du pollueur-payeur, pour les produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment. Structuration d'une filière de collecte et de valorisation des déchets du bâtiment, avec la définition d'une série d'objectifs et de modalités, et la mise en place d'un (ou plusieurs) éco-organismes.

Du fait du domaine retenu, les propositions formulées dans cette note s'adressent aussi à des cadres de programmation tels que la Stratégie d'accélération *Solutions pour la ville durable et les bâtiments innovants,* l'ANR, l'ADEME – et, au niveau européen, les programmes de recherche d'Horizon Europe sur la ville durable, en cours de lancement et auxquels l'ANRT va participer, dans le cadre du groupe miroir français dédié mais aussi directement, en tant que partenaire associé du programme *Driving Urban Transition Towards a Sustainable Future.*

Les propositions formulées dans cette note synthétisent les besoins de recherche exprimés et discutés lors des six réunions du groupe de travail, entre avril et novembre 2021. Elles ont été précisées et enrichies à partir des échanges qui ont eu lieu lors du colloque organisé le 2 décembre 2021 sur « les enjeux et besoins de RDI pour le recyclage », en partenariat avec l'INSA Lyon, qui a accueilli l'événement, et la plateforme INDURA[8].

Ce travail est le fruit de l'expertise croisée et de l'engagement de l'ensemble des membres du groupe de travail « Transition écologique » (liste en annexe 1), ainsi que des intervenants du colloque.

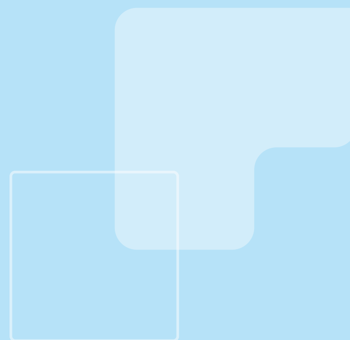
NOTE MÉTHODOLOGIQUE

Les propositions formulées dans cette note sont le fruit des présentations et des échanges au sein du groupe de travail, ainsi que du colloque du 2 décembre 2021. La note n'engage pas individuellement ou institutionnellement les membres du groupe. Elle est portée par l'ANRT, dans son rôle d'animation d'échanges collectifs et de force de proposition en direction des responsables des politiques de recherche et d'innovation.

Pour cette raison, les auteurs des citations ou les porteurs des projets mentionnés ne sont pas nommés : les citations et exemples ont vocation à illustrer des propos synthétisés par la note, et non à restituer des points de vue particuliers exprimés lors des échanges.

7- Source : ADEME, Déchets - chiffres-clés, édition 2020. Le reste se répartit entre 70 millions de tonnes pour les activités économiques (y compris les collectivités) en dehors de la construction, 32 millions de tonnes pour les ménages.

8- INDURA est un cluster rassemblant une centaine d'acteurs scientifiques, techniques et économiques dans le domaine des infrastructures de transport et de l'énergie, dont l'objectif est de développer des solutions innovantes répondant aux enjeux sociétaux et environnementaux.



INTRODUCTION

UN ENJEU CLÉ : ACCÉLÉRER LE PASSAGE D'UN RECYCLAGE EXPÉRIMENTAL À UNE CIRCULARITÉ GLOBALE, ET D'UNE VILLE DURABLE À UNE VILLE DÉSIRABLE

Le recyclage est aujourd'hui sur la voie d'une profonde transformation d'échelle. Après avoir longtemps été limité à des niches, qui se sont progressivement multipliées et étendues, il affronte désormais le défi d'une forte montée en puissance, dans le cadre de modèles circulaires globaux et d'attentes sociétales renforcées. Les témoignages apportés par les entreprises et organisations permettent d'illustrer les enjeux et les difficultés de ce changement de paradigme, et les besoins de recherche associés.

Une première série de questionnements, portés principalement par les sciences de la matière, de la nature, de l'ingénieur etc., se situe au plus près des besoins d'innovation technologique (I).

Une deuxième série renvoie aux besoins socio-humains (II), sur lesquels les sciences humaines et sociales (SHS) sont positionnées en première ligne : enjeux cognitifs, socio-culturels, économiques, géographiques, politiques, juridiques, organisationnels, méthodologiques...

Pour rappel, les divers domaines scientifiques ont vocation à travailler davantage ensemble, sur chacune de ces deux catégories d'enjeux, avec un horizon commun : que le mieux-disant environnemental se traduise aussi par du mieux-disant humain et social, afin que les habitants (et pas seulement les plus favorisés d'entre eux) aient accès à une ville qui ne soit pas faite que de contraintes supplémentaires : logements plus petits, mobilité limitée etc.

On conclura sur quelques questions-clés illustrant tout particulièrement ce besoin de dialogue interdisciplinaire renforcé (III).

01 AMÉLIORER LE RECYCLAGE : REMONTER LES MATÉRIAUX ET PRODUITS RECYCLÉS DANS LA CHAÎNE DE VALEUR

Toutes les entreprises membres du groupe de travail se sont fixé des objectifs ambitieux d'augmentation de la part de matière recyclée dans leur production. Pour les matériaux de construction, un industriel évalue ainsi aujourd'hui cette part à 26 - 28 % dans ses produits, avec l'objectif de monter à 40 % en 2030 et à 100 % à terme.

Les entreprises doivent surmonter plusieurs défis pour parvenir à augmenter cette part recyclée :

- un accès aux gisements de matières recyclées moins évident, moins abondant, moins régulier qu'à ceux des matières premières vierges. Cet accès est aussi parfois payant, et éloigné des sites de transformation, nécessitant un transport et une logistique spécifiques. Le souci d'une circularité croissante amène aussi les entreprises à se préoccuper de mutualiser leurs besoins et ressources de matières premières secondaires au sein des écosystèmes territoriaux, ce qui représente de nouvelles problématiques à gérer (expertise, gestion des flux, réseaux et partenariats etc.).
- Des incertitudes quant à la durabilité de ces matières, liées à un état des connaissances sur les conditions de leur dégradation intrinsèque globalement moins avancé que pour les matières premières vierges ; certains retours d'expérience font état de premiers résultats mitigés en termes de performance des matières recyclées.
- Des réticences de la part des clients, qui, au-delà même du prix, tendent à estimer que les produits à base de recyclés sont moins fiables, moins performants ou d'usage moins facile.
- Un coût des matières recyclées plus élevé - conséquence des points précédents.

Exemple : *Enrobé pour des chaussées présentant le double avantage environnemental d'être à base de recyclé utilisable à froid (économies d'énergies par rapport aux produits classiques avec pose à chaud) ; mais dont la pose nécessite 5 jours de beau temps consécutifs.*

Ces défis donnent lieu à une série de recherches autour d'un axe principal : mieux valoriser les « déchets », co-produits, matières secondaires, en les faisant remonter dans la chaîne de valeur. Une limite fréquente du recyclage est en effet le downcycling : la matière est recyclée, mais sous des formes (produits, usages) qui représentent une dégradation nette de fonction et de valeur économique par rapport au produit ou à la matière initiale.

Exemple : *Granulats de béton recyclés issus de bâtiments démolis, utilisés en remblai de route.*

Un objectif est donc au contraire d'upcycler les matières recyclées, pour obtenir un gain de valeur. Pour cela, il faut améliorer leur qualité et leurs performances, en vue de répondre aussi bien aux attentes des clients que des régulateurs publics.

Exemples :

- *Enrobés recyclés, utilisés en couche supérieure de chaussée plutôt qu'en sous-couche ou en remblai.*
- *Terres polluées aux hydrocarbures, nettoyées et recyclées dans des bétons au lieu d'aller en décharge ou en remblai.*

Les améliorations souhaitées se déclinent en diverses pistes de recherche, présentées ci-après. Elles couvrent un large spectre de TRL (technology readiness level), en renvoyant, selon les cas, à des besoins d'avancées scientifiques et /ou de développements innovants. Un enjeu est aussi d'embarquer davantage d'entreprises (notamment petites et moyennes), de collectivités et d'acteurs socio-économiques.

1/ CARACTÉRISER LES MATÉRIAUX ET LEURS CONDITIONS D'USAGE

Un premier besoin est d'améliorer la connaissance des propriétés et du comportement de nombreux matériaux recyclés, pour garantir leur usage au niveau de qualité exigé (pureté, stabilité etc.). Par exemple, « les sédiments de barrage des Alpes et des Pyrénées ne sont pas identiques, sans même parler de ceux de la Normandie (la Rance) ».
Même si les industriels mettent en place des procédures très strictes visant à garantir des niveaux équivalents de qualité globale dans les processus de production, des interrogations scientifiques et technologiques demeurent. Ce niveau est encore souvent jugé insuffisant pour que les matières recyclées soient considérées comme des intrants équivalents aux matières premières primaires. En découle un double défi de connaissance et d'application de ces connaissances. Une caractérisation plus fine de nombreux matériaux, mais aussi de leurs conditions d'usage (« un granulat recyclé ne se comporte pas exactement comme un granulat classique »), est ainsi un préalable à de nombreuses innovations pour un recyclage valorisé.

Du côté des sciences humaines et sociales, la caractérisation des matériaux et des produits renvoie à des processus qui vont du socio-culturel au juridique.

Exemple : *La représentation d'un produit usagé peut aboutir à considérer et à traiter celui-ci soit comme une ressource (à réutiliser ou transformer), soit comme un déchet (à jeter). Autre exemple : il existe un statut juridique du déchet, avec des conséquences importantes sur son devenir et sa valeur.*

2/ SÉPARER PLUS FINEMENT LES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UN PRODUIT OU D'UN MATÉRIAU

Parvenir à désolidariser des éléments qui avaient été pensés pour être aussi liés que possible au sein d'un matériau ou d'un produit (composites, etc.) constitue un enjeu-clé pour un recyclage plus pertinent et plus poussé.

Exemple : *Dans le cadre du projet européen Blackcycle, dont l'objectif est de créer les conditions de mise en place d'une dynamique circulaire complète du pneu, un axe de travail consiste à décomposer plus finement les 70 % de matières issues de la pyrolyse qui n'étaient jusque-là pas recyclés directement, pour essayer de « trouver des chemins de valorisation spécifiques » pour les différents flux ainsi distingués.*

Trois types de défis interviennent.

Le premier est technique : en se fondant sur une connaissance scientifique approfondie du matériau, il s'agit de développer des procédés nouveaux ou améliorés pour trier finement des sous-composants très intégrés. Un industriel cite des outils « *principalement issus de la mécanique, de la thermique et de façon croissante de la chimie. Et depuis quelques années, certaines biotechnologies permettent d'aller chercher de la séparation là où ce n'était pas possible avant, par de la transformation à basse température par exemple – même s'il y a encore quelques défauts d'après les analyses de cycle de vie* ». Un autre évoque des solutions intéressantes avec des technologies micro-ondes et de chimie verte (e.g. usage de fluides supercritiques).

Le deuxième défi est organisationnel et stratégique : l'enjeu de la séparation amène à devoir « maîtriser les nouvelles boucles » circulaires, comme le souligne un membre du groupe. Les étapes à franchir sont autant de défis corrélés, en amont et en aval :

- identification de nouvelles matières premières secondaires, de plus en plus souvent issues d'autres filières ;

Exemple : *Polystyrène issu de sources variées, dépolymérisé grâce à une technologie innovante d'une start-up canadienne partenaire, pour intégration de monomères dans des produits tels que des bandes de roulement de pneus.*

- nettoyage, préparation, contrôle du matériau à ségréger ;
- développement et partage d'outils de mesure, de suivi et de traçabilité appropriés, tout au long de la boucle ; et coordination soigneuse des cahiers des

charges des partenaires impliqués tout au long de la boucle, pour garantir une cohérence essentielle à la qualité finale ;

- nouvelles règles de conception des produits : *« Il faut accepter de reconnaître que si tout doit être ISO, on aura du mal à faire bouger les choses. Cela remet en cause nos modalités de conception »*, pour aller vers l'éco-conception notamment. Face aux difficultés de séparation des éléments, il est moins coûteux à tous égards de concevoir des produits plus simples et plus modulaires que de devoir désassembler a posteriori des éléments complexes et très solidaires.

Le troisième défi est culturel. Assembler, intégrer des éléments de la façon la plus homogène possible au sein de produits nouveaux a longtemps constitué l'horizon naturel des innovateurs, des ingénieurs et des chercheurs. Aujourd'hui, l'inversion de la logique représente un basculement qui ne va pas de soi.
A noter que si on arrive à descendre en-dessous d'une certaine barrière de séparation, cela peut lever un verrou pour des industriels et ouvrir ainsi une nouvelle filière d'activité.

3/ AMÉLIORER LES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES DES PRODUITS ISSUS DU RECYCLAGE

Concevoir des produits moins impactants pour le climat et l'environnement amène à chercher des solutions du côté de leur composition : développer le recours à des intrants alternatifs moins polluants ; limiter le besoin d'apports complémentaires (eau, adjuvants, solvants…) souvent nécessaires pour assurer la bonne performance des matériaux recyclés ; développer la durabilité de ces matériaux, etc.

4/ AMÉLIORER DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES DES PROCÉDÉS DE RECYCLAGE

La limitation de l'impact environnemental des produits recyclés passe aussi par des gains d'efficacité dans les processus de tri, de nettoyage, de traitement etc. Il s'agit par exemple de les rendre plus économes en énergie, la consommation énergétique étant une objection importante adressée aux technologies du recyclage.
La question des impacts climatiques et environnementaux du recyclage suscite des controverses plus larges qui seront abordées aussi sous d'autres angles (voir plus loin) ; mais une partie des réponses est recherchée du côté des solutions scientifiques et technologiques permettant de limiter suffisamment ces impacts pour contribuer à une balance positive des coûts et des avantages du recyclage.

***Exemple :** Projet ARCADE - Tri optique des déchets, utilisé comme outil d'aide à la décision : stratégie de choix du versement dans les stocks, selon le niveau de valorisation possible et souhaité.*

La recherche sur les procédés peut aussi viser aussi à « améliorer des process liés au développement de nouveaux marchés : traitement à la chaux, centrale à froid ».
Au-delà, les procédés de recyclage renvoient à une série de problématiques d'organisation territoriale et socio-économique, traités dans la partie suivante.

5/ DÉVELOPPER LES SOLUTIONS DE CAPTAGE ET DE VALORISATION DU CO_2

Les émissions de CO_2 et autres gaz à effet de serre étant au premier plan des objectifs internationaux mesurables, de nombreuses recherches portent sur la manière de le bloquer pour le « recycler » dans des produits divers, afin d'en faire une ressource plutôt qu'une pollution.

***Exemple :** Le projet FastCarb vise à accélérer la carbonatation naturelle du béton, de manière à lui faire jouer un rôle accru de puits de carbone. Sachant que le béton absorbe naturellement au cours de sa vie environ ¼ du CO2 qui a été nécessaire à sa fabrication, FastCarb devrait permettre d'accélérer le processus, lui faisant absorber en une heure ce qu'il aurait absorbé naturellement en 50 ou 100 ans.*

***Autre exemple de recherches en cours sur ce sujet :** La géométrie des stocks. Plus on est en surface du béton, plus on capte de CO2 ; comment faire en sorte d'améliorer la part captée ?*

Les pistes sont diverses et prometteuses, il semble important d'intensifier les efforts en ce sens.

6/ DIVERSIFIER LES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT ET LES DÉBOUCHÉS

La matière à recycler peut être issue des produits de l'entreprise ou en tout cas du secteur concerné, en boucle fermée, ou provenir d'autres secteurs. Les deux modalités se développent fortement : les entreprises se saisissent de l'opportunité de se développer verticalement en intégrant un sourcing de matière internalisé grâce au recyclage de leurs produits – verticalité qui tend donc à s'estomper au profit de la circularité ; et les échanges de matières premières secondaires entre secteurs se développent au fur et à mesure que les technologies, les processus et les interactions progressent, avec l'intégration par certains de déchets et co-produits qui deviennent autant de ressources pour d'autres.

Exemples :

- *Evaluation de la capacité d'insérer divers déchets issus de matériaux de construction, d'aménagements routiers etc., dans de nouveaux matériaux telles que terres cuites (tuiles et briques), terre crue (bauge, pisé, torchis…), béton, granulats routiers… Un industriel membre du groupe de travail affiche par exemple l'objectif de passer de 48 MT de produits issus d'autres industries à 100 MT en 2030.*
- *Projet Epiflex : valorisation de la chaleur fatale d'installations industrielles dans des réseaux de chaleur ou de froid, à l'échelle d'un site.*

Dans le cadre des croisements intersectoriels (symbiose industrielle), on peut souligner la piste du recours aux matières géo- et biosourcées, qui trouvent de nouveaux usages en remplacement de matières premières vierges auparavant extraites à des coûts environnementaux élevés.

Exemples :

- *Projet Fibrabéton : remplacement de fibres synthétiques par des fibres végétales dans les chapes et dalles.*
- *Projet Cimentalgue : Le CO2 d'un industriel du BTP est fourni à un producteur d'algues installé près de la cimenterie ; le circuit se poursuit en direction de l'alimentation animale et de la production de combustibles innovants.*

Dans les deux cas (boucle fermée ou intersectorielle), la diversification des sources et des débouchés est une source majeure de besoins de recherche, dans deux directions :

- adapter les matériaux et les procédés en vue d'un recyclage dans un autre domaine – cf. points précédents ;
- trouver des gisements différents, gérer de nouveaux partenariats, organiser de nouveaux écosystèmes, concevoir de nouveaux modèles économiques, etc. Cela engendre des besoins de recherche d'une autre nature, abordés dans la partie suivante.

02

TRANSFORMER LE RECYCLAGE : ORGANISER ET ACCOMPAGNER LES DYNAMIQUES CIRCULAIRES

Parallèlement aux gains d'efficacité liés à l'amélioration des solutions technologiques, une série d'autres problématiques ont été identifiées par les membres du groupe de travail. Elles renvoient à des domaines de recherche ou d'innovation moins technologiques et plus socio-économiques ; mais toujours avec une exigence de dialogue plus poussé entre disciplines, à tous les niveaux de TRL (*Technology Readiness Level*), MRL (*Market*) ou SRL (*Societal*).

7/ MESURER LES IMPACTS, PARTAGER MÉTHODES ET RÉSULTATS ET UTILISER LES ÉVALUATIONS PLUS EN AMONT DANS LES PROJETS

La mesure des impacts et l'utilisation des résultats, de l'amont à l'aval des projets, est un objet de recherche très interdisciplinaire et qui comporte des dimensions à la fois fondamentales et appliquées.
Trois problématiques se dégagent.

LE CHOIX DU BON OUTIL PARMI LE FOISONNEMENT DES MÉTHODOLOGIES EXISTANTES

Les méthodes d'évaluation des impacts environnementaux sont nombreuses. Face à ce foisonnement, nombre d'entreprises expriment le besoin de savoir vers quel outil se tourner, en regrettant de plus qu'il réduise la comparabilité des résultats : aucun outil ne mesurant les mêmes choses de la même façon, il n'existe pas de commune mesure des performances, ce qui ouvre la porte à des effets de communication peu vérifiables.
Selon les spécialistes, il est illusoire de chercher « le » bon outil : tous ont leur pertinence, en fonction des objectifs visés, du type d'objet étudié etc. La question est plutôt de savoir comment choisir. Autre solution adoptée par certaines entreprises : créer leurs propres outils, à partir des méthodes existantes, afin de se doter d'une vision de leurs impacts la plus adaptée possible à la réalité de leurs activités et à leurs besoins.
Les chercheurs, notamment dans le cadre de chaires partenariales dédiées au sujet (ELSA-PACT, Lab Recherche Environnement...), ont fait d'importants efforts de valorisation et de diffusion, pour accompagner les entreprises dans leur quête[9]. Reste à ces dernières à se doter des compétences et moyens nécessaires pour s'outiller en la matière, face à des enjeux présentés comme majeurs dans leurs visions stratégiques.

AMÉLIORATION TECHNIQUE DES MÉTHODOLOGIES : MIEUX PRENDRE EN COMPTE DES IMPACTS PLUS DIVERS

Les diverses méthodes présentent des limites dans la prise en compte de certains impacts. Sans viser une impossible exhaustivité, où se situe la frontière entre une évaluation lacunaire ou biaisée, et une évaluation pertinente et suffisante ? La recherche avance là aussi à grands pas, par exemple sur des dimensions comme l'eau ou la biodiversité. Il est aussi possible d'étudier des impacts à une grande diversité d'échelles : produits, systèmes complexes tels que des sites, territoires entiers...

Les chercheurs travaillent par ailleurs à une meilleure prise en compte de problématiques telles que :

- les coûts énergétiques complets. Il s'agit là d'un enjeu clé, rappelé en préambule de ce travail : le recyclage ne peut être considéré comme une solution acceptable que si son impact « net positif » est démontré, ou au moins rendu aussi probable que possible, d'un point de vue énergétique.
- les dynamiques temporelles : effets à long terme, etc. Exemples : ACV des technologies immatures ; évaluation des impacts sur la santé

9- Voir par exemple le comparateur élaboré par la chaire ELSA-PACT.

liés à la dégradation de certains matériaux, dont les matériaux recyclés.
- Les impacts sociaux, après les impacts environnementaux (ACV sociale).

Exemple : *« On a l'impression de se diriger vers des solutions de haute technologie qui vont in fine produire plus de CO2 et consommer plus d'énergie qu'aujourd'hui. La question de savoir ce qu'on compte vraiment est importante. Quid par exemple de la vraie teneur en CO2 des laitiers[10] ? Elle n'est pas comptabilisée lorsque les sidérurgistes les vendent aux cimentiers ».*

La recherche s'attache aussi à mieux valoriser ce qui est mesuré, en l'intégrant à des systèmes d'aide à la décision ou de gestion.

Exemple : *Les modèles de comptabilité sociale et environnementale (ou comptabilité en triple capital), qui viennent outiller le reporting extra-financier des organisations : CARE-TDL (Comptabilité Adaptée au Renouvellement de l'Environnement), développé par la chaire Chaire partenariale Comptabilité Écologique portée par la Fondation AgroParis Tech et ses partenaires publics et privés ; ou ADESS-Logic (Aide à la Décision Environnementale, Sociale et Sociétale). L'objectif est de faire apparaître sur un même plan comptable les bilans financier, environnemental et social d'une organisation, afin de l'aider à piloter son développement en améliorant sa gestion de ses impacts.*

Enfin, le groupe a fortement souligné le besoin d'intégrer les évaluations et leurs résultats beaucoup plus en amont dans les projets, comme outil d'aide à la décision, plutôt que comme simple information a posteriori.

Ces avancées indiquent autant de pistes à approfondir pour la recherche.

AMÉLIORATION « SOCIALE » DES MÉTHODOLOGIES : PARTAGER PLUS LARGEMENT LA RÉFLEXION SUR LEURS CONDITIONS DE PRODUCTION ET D'USAGE

Autre limite des méthodes d'évaluation des impacts environnementaux : leur côté « boîte noire ». Beaucoup de questions se posent concernant leur conception, ainsi que leurs conditions de réalisation et d'usage. Qui décide de ce qui est pris en compte, ainsi que des modalités et de la portée de cette prise en compte ? Quels choix sont faits, pourquoi, comment, avec quelles conséquences ? A l'autre extrémité du spectre : comment a été effectuée concrètement l'évaluation ? Jusqu'où le cahier des charges a-t-il été respecté ou pas, depuis le recueil des données jusqu'à leur interprétation et leur communication, en fonction des données disponibles et des moyens mobilisés (temps, coût, compétences) ? Ces questions, on le sait, sont à l'origine d'une grande variabilité des résultats des évaluations d'impacts.

Ces questions appellent là aussi un travail en commun plus en amont. Cette meilleure maîtrise par les utilisateurs est importante pour améliorer la pertinence et la performance des méthodes. Surtout, elle est une condition clé du développement de relations partenariales efficaces au sein des écosystèmes circulaires, où les co-produits et les données qui s'y rapportent doivent circuler entre une diversité d'acteurs. Les questions pour la recherche portent donc sur un ensemble de processus socio-techniques, qui vont de l'amélioration de la qualification et de la quantification des impacts à l'organisation des écosystèmes territoriaux, en passant par la gestion des connaissances et de l'innovation.

8/ ACCROÎTRE LA MUTUALISATION DES BESOINS ET RESSOURCES DES TERRITOIRES

On le sait, les ressources et les besoins des territoires sont très divers. La valorisation de ces spécificités, au plus près des réalités de terrain, constitue l'un des moteurs de l'économie circulaire. Cette inscription territoriale est pourtant encore parfois oubliée dans certaines définitions reconnues de l'économie circulaire (plus de 100 répertoriées), faisant apparaître celle-ci comme « a-territoriale ».
Cette nécessaire approche territorialisée doit s'articuler à des logiques plus verticales, historiquement puissantes en France : secteurs et filières industriels, domaines de politiques publiques.
Le groupe a identifié les pistes de questionnement suivantes.

QUEL TERRITOIRE ?

Sur un territoire, de nombreux périmètres se superposent : site, quartier, ville, communauté de communes, bassin d'emploi, zonages divers, schémas de planification stratégique... En articulant leurs enjeux propres avec les contraintes et opportunités associées à ces découpages,

10- Les laitiers sont des co-produits de l'industrie sidérurgiste, issus de la fonte de fer (hauts-fourneaux) ou d'acier (aciéries) et souvent recyclés par l'industrie du BTP (fabrication de béton, ciment etc.)

les acteurs du recyclage (producteurs, transformateurs, gestionnaires, consommateurs de déchets) doivent déterminer àquelle échelle exercer leur activité, aux meilleures conditions économiques et environnementales. Une unité de recyclage doit par exemple avoir une zone de collecte assez importante pour que des volumes suffisants soient disponibles, et suffisamment restreinte pour limiter les coûts de transport.

La qualification du territoire pertinent relève d'une diversité d'acteurs : experts techniques et socio-économiques, partenaires industriels, responsables politico-administratifs, habitants et riverains…. Selon la manière dont il va être investi par cette diversité d'acteurs, le territoire peut ainsi être soit une source de conflits et un frein au développement d'initiatives innovantes, soit un puissant levier d'activation des logiques circulaires et de la transition écologique. Les conditions dans lesquelles se construisent ces processus sont des questions pour la recherche, en géographie, sociologie, économie, science politique etc.

Exemples :

- *Projet PROXITER. Objectif : contribuer à une meilleure compréhension du principe de proximité et des processus de territorialisation liés aux politiques publiques dans le domaine des déchets domestiques. Constat d'une forte tension entre, d'un côté, la proximité envisagée comme un périmètre de gestion de la part des pouvoirs publics et, de l'autre, la proximité invoquée par les riverains des installations, comme définition d'un espace de vie et comme source de légitimé et de droits.*
- *Programme de recherche PSDR (Pour et Sur le Développement Régional », lancé en 1995, avec quatre tranches successives (4ème tranche 2014-2018). Il a mis en évidence les défis liés à la gestion des interactions entre les différents acteurs : gouvernance territoriale, besoins de coordination, prise en compte d'évolutions telles que la place croissante des citoyens dans les processus de décision, etc. Un nouveau programme a pris la suite à partir de 2020 : TETRAE (Transition en Territoires de l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement).*
- *Recherche menée par CitéSource sur l'analyse des freins à la valorisation des déchets sur un territoire et pistes d'action, à partir de retours d'expérience de projets de valorisation de ressources secondaires de matériaux de construction. Parmi les résultats : prise en compte insuffisante du contexte territorial ; échelle retenue trop réduite, ne permettant pas d'agir de façon aussi systémique que souhaitable (ex. : perspective limitée à la construction en mode circulaire d'un ensemble de logement, sans prendre en compte des enjeux plus larges d'aménagement de l'espace, de gestion de réseaux urbains etc.).*

QUELLES CHAÎNES DE VALEUR TERRITORIALES, QUELS MODÈLES ÉCONOMIQUES ?

L'inscription territoriale est porteuse des questionnements de recherche suivants, concernant notamment la transformation des activités et des modèles économiques de l'entreprise, sous l'angle territorial.

Un premier enjeu consiste à identifier et gérer les nouveaux gisements de matières secondaires. Selon un industriel membre du groupe, *« ce ne sont pas les considérations techniques qui freinent, mais plutôt l'accès à la ressource. Ainsi, les techniques de recyclage à 100 % ont fait l'objet de beaucoup de recherches et d'applications sur le terrain ; elles sont viables, mais difficiles à mettre en œuvre du fait de l'accès limité aux ressources ».*

Cet accès aux ressources dépend d'une multiplicité de facteurs. Ainsi, la recherche de nouveaux gisements amène à celle de nouveaux partenaires, donc au développement de nouvelles activités, et à la construction de nouveaux positionnements dans des environnements socio-économiques - eux-mêmes en mutation. Les enjeux sont d'autant plus forts qu'il ne s'agit plus seulement, on l'a dit, d'explorer ou d'expérimenter à petite échelle, mais de transformer l'essai, de monter en puissance de façon accélérée.

Ces questions ouvrent des pistes de recherche dans les domaines suivants :

- analyse des flux et stocks de matières ;
- analyse dynamique des flux, afin de pouvoir réaliser des projections selon différents scénarios prospectifs ;
- croisement de l'étude des ressources secondaires avec celle des besoins en matériaux, afin de mettre en relation l'offre et la demande.

Exemple : *Projet européen Interreg CO2RESDRES - 2020-2023. 18 partenaires de la Grande Région (territoires français, allemands, belges, luxembourgeois…). L'objectif est de recenser les matières premières secondaires du secteur de la construction pour les transformer en constituants de ciment bas carbone, en étudiant les conditions de transport et de traitement (séchage, broyage, calcination…).*

Deuxième enjeu : au-delà du recyclage, comment développer un ensemble cohérent d'activités et de solutions circulaires : réemploi, recyclage, efficacité, sobriété etc. ? Un pas en amenant un autre, la volonté de recycler entraîne en effet la prise de conscience que d'autres démarches circulaires sont nécessaires pour gagner en efficacité globale : déconstruire au lieu de démolir, réemployer au lieu de recycler, éviter le gaspillage et la surconsommation… Autant de gains de matière, d'énergie et de travail, par rapport à une démarche de recyclage seul, vertueuse mais aussi coûteuse en soi, et qui ne peut couvrir qu'une partie des besoins.

***Exemple :** Un grand industriel et intégrateur français se positionne sur toute la chaîne de gestion des déchets d'une grande diversité de produits et matériels, selon les préconisations en matière d'économie circulaire : réduire, réutiliser, recycler, valoriser, éliminer. Une illustration, la méthodologie CLE : Connaître, Localiser, Evaluer. Cet outil d'aide à la décision permet de déterminer la meilleure solution globale.*

Troisièmement, le territoire n'est pas seulement un gisement de ressources primaires et secondaires, il est aussi un espace socio-économique qui absorbe les impacts des évolutions qui s'y déroulent. Quels sont par exemple les besoins nouveaux de compétence et de formation qui naissent du développement d'activités circulaires telles que le recyclage sur le territoire, et comment les prendre en compte ? Quelle prise en compte des externalités négatives de ces activités ? Celles-ci prennent des formes diverses : socio-culturelles, comme le rejet par les riverains d'installations telles que des déchetteries / recycleries ou des méthaniseurs, mais aussi économiques, avec des pertes de valeur foncière ou immobilière liée à la proximité de ce type d'installations. La recherche peut aider les entreprises et les collectivités à qualifier et quantifier ces externalités et à les intégrer dans des modèles durables de développement économique et social.

Enfin, un enjeu global pour l'entreprise est d'évoluer vers des modèles économiques à la fois plus territorialisés et cohérents avec des logiques plus verticales (secteurs, filières…). D'une façon générale, une question clé consiste à valoriser davantage ce qui ne l'est aujourd'hui pas suffisamment : actifs naturels, immatériels etc. – ou parfois, au contraire, très matériels : le recyclage pâtit aujourd'hui fortement du faible coût des matières premières secondaires, par rapport au coût du travail nécessaire à les transformer, par exemple.
Du côté des territoires, l'entreprise est appelée à renforcer la part de valeur qu'elle crée, issue de logiques circulaires. Cette thématique renvoie à des thématiques de recherche telles que l'analyse des symbioses industrielles, du métabolisme urbain, l'écologie industrielle et territoriale, l'économie de la fonctionnalité avec le développement d'approches orientées services, etc. Il est suggéré que les entreprises soient incitées à se mettre en relation avec les collectifs porteurs de recherche sur ces thématiques (laboratoires, tiers lieux, structures partenariales de R&D…).

QUELS OUTILS ?

Trois pistes de recherche se dégagent pour mieux outiller le développement du recyclage, en prenant mieux en compte la logique territoriale.
Les questions de mesure sont majeures. Elles sont abordées, de façon plus large, dans un point suivant.
Ensuite, on observe que des outils dédiés, propres à une entreprise, une organisation, un territoire, une filière etc., sont conçus et mis en œuvre. Il serait intéressant de recenser ceux qui donnent des résultats prometteurs et de voir dans quelles conditions ils pourraient être déployés plus largement.

Exemples :

- *Méthode ACMED – Aide à la Conception de Modèles Economiques Durables (EDF – Université de Toulouse – Toulouse School of Economics) : calcul des externalités positives et négatives pour le calcul de la création de valeur à partir de sédiments continentaux.*
- *Be Circle – ENGIE : approche d'écologie industrielle et territoriale, développée par le ENGIE Lab CRIGEN, en vue de déployer des services innovants en matière d'économie circulaire.*

Enfin, le numérique apparaît comme une orientation clé, en matière de recyclage, comme plus largement en matière de transition écologique. Traçage des consommations donc des besoins, suivi de la vie des produits pour maintenance (prédictive et préventive) et recyclage, approches systèmes agrégeant des données issues de sources diverses, du BIM à l'échelle d'un bâtiment jusqu'aux jumeaux numériques de territoires…
Les perspectives très importantes qu'ouvrent les technologies numériques sont aujourd'hui bien perçues, soutenues et financées par les acteurs publics et privés – avec des points d'attention bien connus eux aussi en matière de sécurité, souveraineté etc. Le groupe a souligné

en particulier la nécessité de mettre soigneusement en regard les bénéfices et les coûts environnementaux et climatiques des dispositifs numériques dédiés aux solutions de recyclage et d'économie circulaire : quelle consommation énergétique pour disposer d'une information actualisée, complexe et décentralisée, et avec quels impacts environnementaux et climatiques ?

9/ RENFORCER LE SOUTIEN À L'ACCOMPAGNEMENT DES COOPÉRATIONS INNOVANTES

Le recyclage et les stratégies d'économie circulaire dans lesquelles il prend place sont, on l'a vu, porteurs de nombreuses interactions nouvelles entre producteurs, transformateurs, consommateurs de matières premières secondaires – sans compter les régulateurs de leurs interactions, tels que les acteurs politico-administratifs. D'importants besoins de mise en relation et d'accompagnement des acteurs ont été exprimés.

Exemples :

- *Projet et solution EPIFLEX, associant entreprises, recherche publique et acteurs locaux (collectivités, agences, etc.), sur la zone industrialo-portuaire de Dunkerque. Conception d'éco-parcs industriels valorisant non seulement les flux de matières, mais aussi d'énergies, sur un territoire, entre une grande diversité de partenaires.*
- *Projet Rêve de scènes urbaines : démonstrateur industriel de ville durable, en partenariat avec la communauté de communes Plaine Commune et plus de 200 participants : entreprises de toutes tailles, acteurs publics, fédérations professionnelles, acteurs de la recherche et de l'innovation.*

Se pose la question des « intégrateurs » de ces nouvelles interactions souvent multipartenaires, et des cadres permettant à ces dernières de se construire et de se structurer dans la durée.

Les grandes entreprises ont l'habitude de jouer ce rôle, en pilotant des programmes d'innovation. En matière de recyclage et d'économie circulaire, elles sont souvent en relation avec les collectivités locales, qui ont elles aussi vocation à être des « plaques tournantes » des dynamiques de coopération. Beaucoup d'élus, appuyés des services publics locaux, s'investissent dans ce rôle, mobilisant les financements européens, nationaux, régionaux, pour les articuler avec leurs moyens propres et les ressources économiques et sociales disponibles sur leur territoire. La situation est toutefois très inégale selon les territoires, en fonction du niveau d'engagement et de compétence des élus – à noter que la compréhension des déterminants de ces disparités serait un intéressant sujet de recherche !

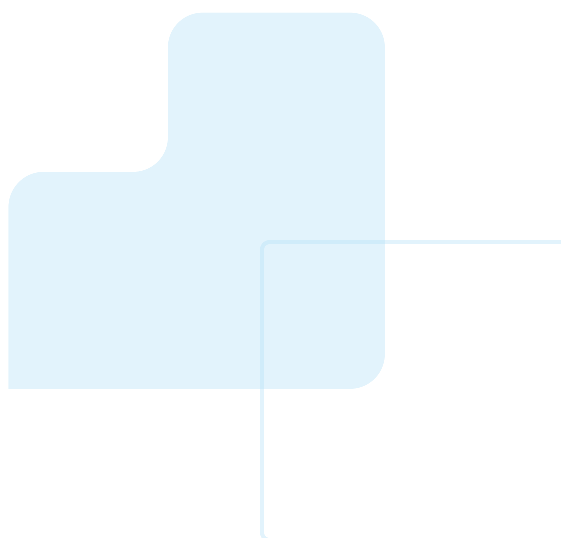
Au-delà de ces deux grands intégrateurs, les initiatives se multiplient pour la création de lieux et d'opportunités de rencontres et l'accompagnement des coopérations innovantes. Les dispositifs de recherche partenariale sont aujourd'hui bien positionnés pour se mobiliser autour de ces thématiques circulaires et territoriales : pôles de compétitivité, IRT-ITE, instituts Carnot etc. ont les réseaux et les compétences nécessaires pour accueillir les entreprises et les chercheurs publics souhaitant nouer des collaborations. Une diversité d'autres acteurs, montés progressivement en puissance, ont acquis une maturité qui leur permet de proposer des compétences professionnelles et des méthodologies efficaces pour l'accompagnement de partenariats public-privés émergents : tiers lieux (fablabs, living labs…), structures de l'économie sociale et solidaire, spin-offs mutualisées d'entreprises et de structures de recherche souhaitant accélérer leur innovation, jeunes entreprises issues de la valorisation croissante des sciences humaines et sociales, etc.

Exemples :

- *Ma Friche urbaine : co-construction de projets entre acteurs du quartier pour expérimenter de nouveaux usages sur des espaces inoccupés entre la cessation d'activité et le démarrage d'un nouveau projet d'aménagement.*
- *Agyre, société créée en 2020 par trois partenaires actionnaires : le pôle de compétitivité Fibres Energivie, le CERIB (centre d'études et de recherche de l'industrie du béton) et Impulse Partners, avec le soutien de l'Etat et de la Région Centre-Val de Loire. Se positionne comme référent national de l'économie circulaire dans la construction. Objectif : accompagner l'ensemble des acteurs pour l'intégration des dimensions sociale et environnementale dans les projets de construction, dans un esprit de « do-tank ».*
- *SoScience : société créée en 2014 pour accompagner les acteurs publics et privés en matière d'innovation ouverte et responsable, orientée impact social et environnemental. 2021 :*

programme européen MOSAIC (pilotes d'innovation territoriale croisant recherche et co-création avec la société).

Ce tissu de « tiers acteurs », qui s'appuie souvent sur la recherche et/ou en est issu, pourrait bénéficier de soutiens renforcés pour nourrir sa capacité de ressourcement scientifique et de valorisation, ainsi que ses liens avec les grandes entreprises et leur R&D. Une coordination en ce sens avec le monde de l'économie sociale et solidaire, qui s'est structuré et développé ces dernières années, serait pertinente.



03 PARTAGER LES VISIONS : MOBILISER LA RECHERCHE ET L'INNOVATION DE FAÇON PLUS INTÉGRÉE

« La culture mange la stratégie au petit déjeuner[11] » : la force des cadres culturels a été soulignée par le groupe s'agissant des défis à surmonter pour monter en puissance en matière de recyclage et d'économie circulaire. Un besoin de cadres de référence plus partagés est perceptible, pour aborder scientifiquement les enjeux technologiques, méthodologiques et socio-culturels du recyclage et de l'économie circulaire. Des échanges interdisciplinaires plus équilibrés et plus ouverts sur la société permettraient de mieux partager les connaissances, les expertises, mais aussi de « penser autrement ensemble. C'est sur ces points que les avancées apparaissent aujourd'hui les plus nécessaires[12] – et les plus complexes.

On peut distinguer trois niveaux d'expression de ce besoin d'évolution des cadres : managérial, stratégique et culturel au sens le plus large.

10/ CADRES STRATÉGIQUES ET MANAGÉRIAUX : DÉBATTRE DES PRIORITÉS, FIXER DES OBJECTIFS STIMULANTS

Redéfinir des orientations stratégiques partagées au sein des organisations et de leurs écosystèmes est un premier enjeu. Cela suscite des questionnements importants, dont voici deux exemples.

Faut-il démontrer d'abord la faisabilité scientifique et technique d'une solution, et étudier ensuite les conditions de son déploiement (localisation, avec les enjeux de transport, de gestion des risques et des nuisances, etc.) ? Ou faut-il au contraire mieux articuler d'emblée les deux opérations, comme le préconisent des membres du groupe : *« On peut avoir une innovation techniquement extraordinaire, mais qui n'aura aucun sens si elle n'est pas adaptée aux usages, aux territoires, aux acteurs, etc. Pour qu'une solution soit efficace, elle doit être envisagée avec l'ensemble des acteurs et construite par rapport à des réalités socio-économiques et territoriales. On gagnera en efficacité et en performance sur les enjeux environnementaux en intégrant un grand nombre de disciplines (géographes, aménageurs, sociologues, politistes, économistes etc.) pour accompagner des innovations techniques, qui ne se développeront pas seulement sur la seule base de leur potentiel technique ».*

Il est important qu'une diversité de disciplines puisse traiter de cette question, avec le même degré de légitimité, le même poids dans le dialogue avec les entreprises, les organisations et les territoires porteurs de projets, afin de mettre en place les processus de conception et de déploiement les plus adaptés. Au-delà des chercheurs, il est souhaitable aussi que d'autres acteurs tels que des associations, des ONG, des entrepreneurs sociaux dont des startups industrielles ou scientifiques, soient associés assez tôt à la co-définition de nouvelles solutions et des conditions possibles de leur mise en œuvre.

Deuxième exemple, concernant l'approche permettant de monter en puissance en matière d'économie circulaire : vaut-il mieux procéder par essai-erreur, en privilégiant l'expérimentation rapide de solutions concrètes puis leur réplication à plus grande échelle, ou se donner les moyens d'une compréhension globale suffisante d'enjeux systémiques, avant d'agir en ayant la capacité d'anticiper les risques et les bénéfices ? Ce questionnement stratégique induit des pistes de R&D très différentes : axes et thématiques bien sûr, mais aussi disciplines et compétences, niveaux de TRL, types de données à recueillir et à traiter etc. Cela étant, les deux approches peuvent aussi être combinées, au moins dans une certaine mesure.

11- Formule couramment attribuée - sans certitude - à Peter Drucker, professeur et consultant en management.
12- Voir par exemple la récente étude de l'IDDRI, réalisée avec le soutien de l'ADEME et de l'ANR, intitulée *« Pour une meilleure intégration des dimensions sociales et des modes de vie dans les exercices de prospective environnementale »*, janvier 2022.

Ces exemples soulignent l'importance que des acteurs de tous horizons et des scientifiques de toutes disciplines accompagnent les projets depuis leur conception jusqu'à leur déploiement, en mobilisant la diversité de leurs savoirs pour étayer les choix stratégiques, technologiques et socio-économiques à opérer.

La recherche peut aussi accompagner les bifurcations possibles dans les façons d'envisager le recyclage. Un membre du groupe s'interroge ainsi : *« Comment penser le recyclage dans une perspective différente de celle qui consiste à recycler pour faire la même chose selon les mêmes critères ? Par exemple, peut-on faire une route recyclée en prenant mieux en compte la qualité des sols, la biodiversité, en intégrant mieux les problèmes d'imperméabilisation et d'artificialisation des sols ? ».* Au-delà, l'entreprise peut aussi aller plus loin que le seul souci de limiter les impacts de ce qu'elle produit, en repensant l'ensemble de son modèle : que produire, pour quels besoins réels ou nouveaux, et comment organiser cette production ?

Enfin, sous un angle managérial, fédérer les équipes de R&D et d'innovation autour d'un objectif qui fasse sens d'un point de vue environnemental et sociétal est un enjeu important. Développer le good will, afficher une volonté de changement et de transformation, favoriser l'acquisition d'un langage commun, permet de démultiplier la capacité d'action et de rester attractif auprès de profils très qualifiés, de plus en plus rares et exigeants.

Propos tenus en réunion :

- *« Pour entrer en relation avec de nouveaux acteurs, participer à des consortiums ou projets collectifs, il faut manifester son enthousiasme pour l'économie circulaire. Pour nous, maintenant, un déchet, c'est une opportunité, et un objet scientifique très intéressant. Cela devient un jeu intellectuel : que puis-je faire avec ce déchet, comment le valoriser ? ».*

- *« Il y a une notion d'exploration : quels sont les nouveaux feed stocks à découvrir, les nouvelles opportunités et performances possibles ? Il faut adopter une posture d'humilité orientée à la fois profit et planète. C'est la source d'un renouvellement de l'engagement des personnes, ce qui a aussi une valeur pour nos entreprises. Dans une démarche circulaire, on prend conscience de ses propres déchets et de ceux des autres, il y a une vision économie solidaire : on s'engage pour soi mais aussi pour les autres ».*

- *« En prenant le leadership de ce projet européen, on a mis en place un cœur d'acteurs motivés, voyant clairement leur bien propre et le bien collectif ».*

11/ CADRES SOCIO-CULTURELS ET COGNITIFS : DÉVELOPPER UNE LARGE APPROPRIATION DES ENJEUX

Si les enjeux climatiques et environnementaux sont désormais affichés au cœur des plans stratégiques des organisations, ils sont encore très inégalement intégrés dans les visions culturelles profondes des individus et des groupes sociaux. Une compréhension plus partagée des implications de ces enjeux demeure un défi, que la recherche peut contribuer à relever.
Deux exemples.

- Au sein des entreprises, certains responsables de production voient avec réticence les matières recyclées arriver dans leurs stocks de matières premières. Ces matières peuvent nécessiter une préparation et un monitoring adaptés : réglages, dosages etc. On s'éloigne d'une certaine culture d'ingénieur, basée sur une approche normée des processus, pour aller vers une culture faisant davantage place à l'expérientiel, à l'ajustement etc. Des effets de génération peuvent aussi jouer : certains jeunes aujourd'hui très conscients des enjeux climatiques trouvent davantage leurs repères dans ce positionnement professionnel que leurs aînés, ancrés dans leur culture métier initiale et moins sensibilisés au lien entre ces enjeux et leur activité quotidienne.

- Les différents piliers de l'économie circulaire ne sont pas tous jugés aussi légitimes ou souhaitables : si le recyclage s'est beaucoup développé du côté des entreprises, le réemploi ou la réutilisation demeurent marginaux. Quant à la notion de sobriété, elle est encore souvent regardée avec suspicion, étant associée à une baisse de la consommation, donc potentiellement de la croissance et in

fine à une mise en cause de notre modèle de développement économique et social. Certains privilégient la confiance dans l'amélioration des technologies pour faire face aux enjeux climatiques et environnementaux ; d'autres expriment la nécessité de ne pas se priver d'autres options : *« On parle de technologies, de logistique, d'opérationnel, et c'est passionnant. Mais quid d'une réflexion sur l'adaptation des filières et des entreprises à la nécessaire frugalité qui nous attend demain ? Le recyclage est une bonne chose mais on ne peut pas recycler à l'infini, et il est très énergivore. D'où l'intérêt d'aller vers le réemploi et la réutilisation, et de se poser réellement les questions de frugalité et de sobriété. Je ne parle pas de décroissance, même si on pourrait le faire, mais de réduction drastique de la prédation des ressources ».*

Dans ces divers cadres, un cheminement commun des acteurs, avec l'accompagnement d'une recherche interdisciplinaire équilibrée entre sciences du vivant et de la matière d'une part et SHS de l'autre, et ouverte sur la société, est un enjeu essentiel, qui convoque la recherche aussi bien dans ses objets que dans sa culture, son organisation et ses méthodes.
Les structures de recherche partenariale (cf aussi C1), ainsi que des cadres interdisciplinaires renforcés, dédiés aux enjeux de la transition écologique et de l'économie circulaire, constituent des solutions pouvant favoriser la double intégration nécessaire (entre disciplines, et entre recherche et innovation).

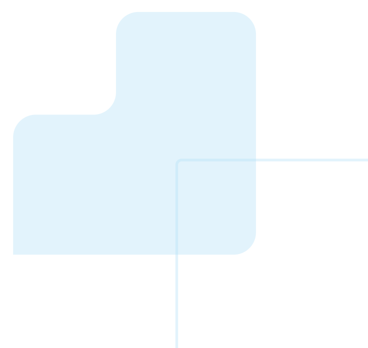
Une autre piste clé est la promotion du concept d'innovation responsable, et le soutien aux acteurs et structures qui en assurent la diffusion. Cette nouvelle vision de l'innovation se distingue par plusieurs aspects : la finalité ou l'impact visé (importance des dimensions sociétales et environnementales) ; la façon dont elle est mise en œuvre (inclusivité pour une diversité de parties prenantes, éco-conception, privacy-by-design...). L'objectif est de promouvoir une innovation durable, ouverte aux besoins de la société et de la planète. Pour accélérer la transformation des pratiques d'innovation en ce sens, il serait utile de rendre plus flexibles les dispositifs de financement afin d'intégrer des acteurs de facilitation, et de prévoir des lignes budgétaires de prestations en lien avec ces expertises et méthodologies.

Exemples :

- *SoScience, entreprise fondée en 2014 et dirigée par deux ingénieures, et qui a obtenu une reconnaissance européenne et internationale, a notamment mis au point une méthodologie d'innovation collaborative à impact intitulée The Future Of, au service d'une recherche et d'une innovation responsables. Cette méthode réunit des entreprises, chercheurs, startups et acteurs de la société pour accompagner les organisations souhaitant transformer leurs pratiques de recherche en profondeur.*

- *RRI Tools : bibliothèque d'outils développée dans le cadre d'un projet européen du programme Horizon 2020. Objectifs : impliquer la société dans la science et l'innovation très en amont dans les processus de R&I, pour aligner ses résultats sur les valeurs sociétales européennes (développement durable environnemental, humain etc.) et prendre en compte de façon globale les différentes dimensions de la relation science, innovation et société : engagement du public, libre accès, égalité des sexes, enseignement des sciences, éthique et gouvernance...*

- *Le développement de dispositifs d'innovation davantage basés sur l'interdisciplinarité scientifique et faisant une large place aux critères et modalités de l'innovation responsable constitue ainsi une piste de recherche en soi : les financements et les évaluations dédiés au développement d'initiatives en ce sens pourraient être utilement renforcés, avec un objectif de rapprochement plus poussé des recherches orientées vers l'innovation technologique et vers l'innovation sociale.*



CONCLUSION

DEUX CONDITIONS CLÉS SUPPLÉMENTAIRES POUR PILOTER LE CHANGEMENT

Deux autres leviers bien connus ont été rappelés par le groupe, qui appelle à les mobiliser plus activement et de façon plus innovante : les incitations réglementaires et normatives, et la formation. A noter que là aussi, une recherche plus interdisciplinaire constitue une ressource pour impulser et accompagner des dynamiques renforcées dans ces domaines.

UN PILOTAGE CLÉ PAR LA RÉGLEMENTATION ET LA NORMALISATION

La réglementation dans le domaine considéré a connu un coup d'accélérateur dans la période récente, même si l'application de la Responsabilité élargie du producteur a été repoussée d'un an (janvier 2023 au lieu de janvier 2022). Elle permet un alignement des acteurs sur des normes plus exigeantes, et peut représenter en ce sens une opportunité pour les entreprises, là où l'adoption de telles normes serait rendue très difficile en l'absence de réglementation, du fait de la compétition économique.

De même, la normalisation permet une convergence progressive vers de meilleures pratiques environnementales. Il s'agit néanmoins d'un processus lourd, puisqu'il implique de nombreuses parties prenantes aux échelles nationale, européenne et internationale ; d'où un certain décalage entre les avancées de la recherche et de l'innovation et l'état des normes en vigueur.

Exemples :

- *L'insertion de fines de béton dans le ciment est déjà possible en Suisse, mais encore en attente d'autorisation au niveau européen.*
- *« Aujourd'hui, on a des difficultés à insuffler des pratiques d'écoconception aux entreprises travaux. En effet, si on inclut des exigences environnementales dans les cahiers des charges à destination des entreprises travaux et des fournisseurs, on s'expose à des risques importants de contentieux pour des critères non concurrentiels. A l'heure actuelle, le code des marchés publics n'est pas encore suffisamment avancé sur ce sujet « achat vert »*

Les membres du groupe ont souligné l'importance que les dynamiques normatives et réglementaires intègrent les meilleures solutions innovantes de façon aussi réactive que possible – ce qui passe aussi par une mobilisation accrue des acteurs français de la recherche et de l'innovation au sein des instances concernées.

A noter qu'il est possible en France de développer une solution plus innovante que la norme, sous réserve d'obtenir une « Appréciation Technique Expérimentale » (ATEx) délivré par le CSTB. Pour des raisons de procédure, de délais et de coût, cependant, les PME, les jeunes entreprises innovantes, les start-up etc. accèdent difficilement à cette possibilité. Il serait intéressant de réfléchir aux moyens de leur simplifier cet accès, soit directement, soit via une incitation au partenariat entre grands groupes et PME incluant cette possibilité.

FORMATION : LA MATRICE DES TRANSFORMATIONS À VENIR

Les besoins sont considérables pour couvrir un spectre allant de l'éducation dès le plus jeune âge à la formation continue des professionnels, des élus etc., tout au long de la vie. Il s'agit à la fois d'orienter les contenus et les compétences vers une meilleure prise en compte des enjeux écologiques, et d'adapter les savoir-faire techniques pour répondre à de nouveaux besoins (exemple : réalisation et contrôle des nouveaux diagnostics Produits Equipements Matériaux et Déchets - PEMD).

Un point d'attention particulier, dans ce contexte de transition, doit être porté à la formation des formateurs, ainsi qu'à celle des dirigeants, compte tenu de leur rôle de prescripteurs pour de nombreux autres acteurs.

Au-delà de ces deux questions-clés, dédions le mot de la fin au rappel de la principale condition-clé majeure pour un développement équilibré du recyclage cohérent, qui constitue aujourd'hui une question majeure de recherche : sa contribution « net positive » aux objectifs climatiques et environnementaux de la transition écologique. Cela passe par une meilleure connaissance et une meilleure prise en compte de son coût complet (énergétique, social, territorial, etc.).

ANNEXE

LISTE DES MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL TRANSITION ÉCOLOGIQUE – RECYCLAGE

L'ANRT et le président du groupe de travail, Michael Matlosz, remercient chaleureusement les membres du groupe qui se sont mobilisés pour contribuer à ce travail collectif : présentations lors des réunions, participation aux échanges, relectures de la note.
Merci aussi aux intervenants et aux partenaires du colloque du 2 décembre : Ali Daouadji, Jean-Yves Toussaint (INSA Lyon), et Franck Gautheron (INDURA), ainsi qu'à Holcim et Geocycle-Holcim pour la visite de la plateforme de recyclage de Saint-Fons.

Lynda Aissani - INRAE | Salima Aggoun - CY CERGY PARIS UNIVERSITE | Vincent Augiseau - CITESOURCE | Angelo Augusto - AIR LIQUIDE | Laury Barnes-Davin - VICAT | Hervé Barry - UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LILLE | Amor Ben Fraj - CEREMA | Edelio Bermejo - HOLCIM | Franck Besançon - ENSA NANCY | Laetitia Bessette - VICAT | Stéphanie Bonnet - UNIVERSITE DE NANTES | Sébastien Bourdin - EM NORMANDIE BUSINESS SCHOOL | Etienne Bouyer - CEA | Véronique Briquet-Laugier - ANR | Nicolas Brosse - UNIVERSITE DE LORRAINE | Philippe Cassagneau - UNIVERSITE LYON I | Michel Cathelineau - UNIVERSITE DE LORRAINE | Christine Ceas - GEOCYCLE-HOLCIM | Alexandra Chaumonnot - IFPEN | Marc Chaussade - CVT ALLENVI | José Michael Chenu - VINCI CONSTRUCTION France | Nicolas Chochoy - INSTITUT GODIN | Michaël Cogne - MICHELIN | Ali Daouadji - INSA LYON | Peter DAVIES - IFREMER | Patrick d'Hugues - BRGM | Cécile Diliberto - UNIVERSITE DE LORRAINE | Camille Dormoy - UNIVERSITE DE PICARDIE JULES VERNE | Farah Doumit - ENGIE | Valentine Erne-Heintz - UNIVERSITE DE HAUTE-ALSACE | Gilles Escadeillas - UNIVERSITE DE TOULOUSE 3 | Agathe EUZEN - CNRS | Luc Federzoni - CEA | Philippe Freyssinet - BRGM | Laetitia Furno - SIBELIANTHE | Béatrice Gasser - EGIS | Marie-Sabine Gavois - RESEAU CTI | Nouha Gazbour - CEA | Nicolas Geheniau - BRL | Elhem Ghorbel - CY CERGY PARIS UNIVERSITE | Olivier Giboulot - ECOLE CENTRALE DE NANTES | Sandrine Hoppe - UNIVERSITE DE LORRAINE | Hélène Houdayer - UNIVERSITE MONTPELLIER 3 | Christophe Huon - ENSA NANCY | Estelle Jeanneau - GERONTOPOLE AURA | Julie Jouvencel - SOSCIENCE | François Kalaydjian - IFPEN | Eunhye Kim - CITESOURCE | Auriane Lamy - TECHNOPOLIS | Juliette Langlois - IMT MINES ALES | Gauthier Lasou - CEA | François Lataste - BRL INGENIERIE [jusqu'en octobre 2021] | Stéphane Le Guirriec - AGYRE | Marie Le Page Mostefa - UNIVERSITE DE LORRAINE | Loïc Le Pluart - UNICAEN | Christophe Lévy - HOLCIM | Christophe Liénard - Bouygues | Xavier Litrico - SUEZ | Simon Luck - IEA DE PARIS | Fabrizio Maccaglia - UNIVERSITE DE TOURS | Bernard Maestrali - EDF R&D | Véronique Magnier - UNIVERSITE PARIS SACLAY | Sophie Mailley - CEA | Angela Marinetti - MESRI | Vincent Mazauric - SCHNEIDER ELECTRIC | Axel Michel - ENGIE LAB CRIGEN | Elodie MILLERET - FONDATION DE RECHERCHE SUR LA BIODIVERSITE | Carine Mineau - WECO | Xavier Montagne – MESRI | Aurélia Nicolaï - SPIE BATIGNOLLES | Philippe Olivier - UNIVERSITE TOULOUSE 3 | Sophie Onimus-Carrias - ENSAL | Alexandre Pavoine - CEREMA | Pierre Pacaud - MESRI | Nicolas Perry - ENSAM | Nicolas Petit - ADEME | Camille Pinard - SIBELIANTHE | Isabelle Piot-Lepetit - INRAE | Carole Pourchez - CGDD / MTE | Frédéric Quéro - GEOCYCLE-HOLCIM | Philippe Roux - INRAE | Frédéric Schuster - CEA | Angela Sulpizio - SPIE BATIGNOLLES | Muriel Thibaut - IFPEN | Christelle Tribout - UNIVERSITE TOULOUSE 3 | Hélène Varlet - ADEME | Morgane Veillet-Lavallée - TECHNOPOLIS | Anne Ventura - UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL | François Vuillaume - BOSCH ELM LEBLANC

NOTES



33 rue Rennequin
75017 - PARIS
Tél : +33(0)1 55 35 25 50
com@anrt.asso.fr
www.anrt.asso.fr